

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>5</sup> : <b>G01R 33/06</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 94/15223</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>7. Juli 1994 (07.07.94)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE93/01204</b> (22) Internationales Anmeldedatum: <b>16. December 1993 (16.12.93)</b>  (30) Prioritätsdaten: <b>P 42 43 358.4</b> <b>21. December 1992 (21.12.92)</b> <b>DE</b>  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</b>  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>VAN DEN BERG, Hugo [NL/DE]; Dr.-Daßler-Strasse 4, D-91074 Herzogenaurach (DE).</b>	(81) Bestimmungsstaaten: <b>JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b>  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: **MAGNETO-RESISTIVE SENSOR WITH A SYNTHETIC ANTI-FERROMAGNET, AND A METHOD OF PRODUCING THE SENSOR**

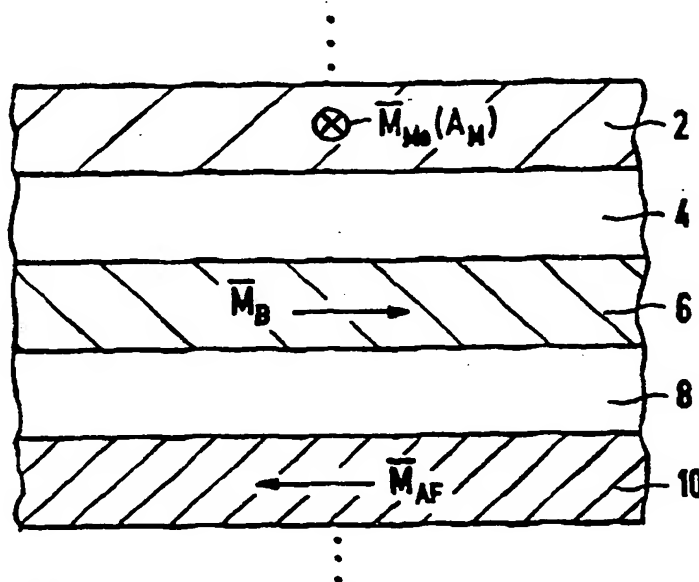
(54) Bezeichnung: **MAGNETOWIDERSTANDS-SENSOR MIT KÜNSTLICHEM ANTIFERROMAGNETEN UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG**

(57) Abstract

The magneto-resistive sensor proposed includes at least one measurement layer (2) with a magnetization ( $\vec{M}_M$ ) in the plane of the layer and a bias layer (6) with a permanent magnetization ( $\vec{M}_B$ ) in the plane of the layer, these two layers being mutually decoupled from each other by an intermediate layer (4). In order to decouple the measurement layer (2) magnetostatically from the bias layer (6), the side of the bias layer (6) remote from the measurement layer (2) is anti-ferromagnetically coupled via a coupling layer (8) to a magnetic layer (10) to form a "synthetic anti-ferromagnet". In a preferred embodiment, the magnetizations ( $\vec{M}_M$  and  $\vec{M}_B$ ) of the measurement layer (2) and the bias layer (6) are at least approximately orthogonal to each other. This gives a sensor with a linear characteristic and maximum sensitivity.

(57) Zusammenfassung

Ein Magnetowiderstands-Sensor gemäß der Erfindung enthält wenigstens eine Meßschicht (2) mit einer Magnetisierung ( $\vec{M}_M$ ) in der Schichtebene und eine Biasschicht (6) mit einer festen Magnetisierung ( $\vec{M}_B$ ) in der Schichtebene, die durch eine Zwischenschicht (4) voneinander austauschentkoppelt sind. Zur magnetostatischen Entkoppelung der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) in einem "künstlichen Antiferromagneten" antiferromagnetisch über eine Koppelungsschicht (8) an eine Magnetschicht (10) gekoppelt. In einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Magnetisierungen ( $\vec{M}_M$  und  $\vec{M}_B$ ) der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) wenigstens annähernd orthogonal zueinander. So erhält man einen Sensor mit linearer Kennlinie und maximaler Empfindlichkeit.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

1 Magnetowiderstands-Sensor mit künstlichem Antiferro-  
magneten und Verfahren zu seiner Herstellung

5 Die Erfindung betrifft einen Magnetowiderstands-Sensor und  
ein Verfahren zu seiner Herstellung.

10 In ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Nickel (Ni),  
Eisen (Fe) oder Kobalt (Co) und in Legierungen mit diesen  
Metallen ist der elektrische Widerstand abhängig von der  
Größe und Richtung eines das Material durchdringenden  
Magnetfeldes. Diesen Effekt nennt man anisotropen Magneto-  
widerstand (AMR) oder anisotropen magnetoresistiven  
Effekt. Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen  
Streuquerschnitten von Elektronen mit unterschiedlichem  
15 Spin, die entsprechend als Majoritäts- und Minoritätselek-  
tronen des D-Bandes bezeichnet werden. Für magnetoresi-  
stive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus  
einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magne-  
tisierung in der Schichtebene verwendet. Die Widerstands-  
20 änderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Strom-  
richtung kann einige Prozent des normalen isotropen Wider-  
standes betragen.

25 Es sind Mehrschichtsysteme bekannt mit mehreren, zu einem  
Stapel angeordneten ferromagnetischen Schichten, die durch  
metallische Zwischenschichten voneinander getrennt sind,  
und deren Magnetisierungen jeweils in der Schichtebene  
liegen. Die jeweiligen Schichtdicken sind dabei wesentlich  
kleiner als die mittlere freie Weglänge der Leitungselek-  
tronen gewählt. In solchen Schichtsystemen tritt nun zu-  
30 sätzlich zu dem anisotropen magnetoresistiven Effekt in  
den einzelnen Schichten der sogenannte Giant-magnetoresi-  
stive Effekt oder Giant-Magnetowiderstand (Giant-MR) auf,

- 1 der auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen im Volumen der Schichten, insbesondere in Legierungen, sowie an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und  
5 den Zwischenschichten beruht. Dieser Giant-MR ist ein isotroper Effekt und kann erheblich größer sein als der anisotrope MR mit Werten von bis zu 70 % des normalen isotropen Widerstandes.
- 10 Es sind zwei Grundtypen von solchen Giant-MR-Mehrschichtsystemen bekannt. Bei dem ersten Typ sind die ferromagnetischen Schichten über die Zwischenschichten antiferromagnetisch aneinander gekoppelt, so daß sich die in den Schichtebenen liegenden Magnetisierungen von zwei benach-  
15 barten ferromagnetischen Schichten ohne äußeres Magnetfeld antiparallel zueinander ausrichten. Ein Beispiel für diesen Typ sind Eisen-Chrom-Übergitter (Fe-Cr-Superlattices) mit ferromagnetischen Schichten aus Fe und antiferromagnetischen Zwischenschichten aus Cr. Durch ein äußeres Ma-  
20 gnetfeld werden nun die Magnetisierungen von benachbarten ferromagnetischen Schichten gegen die antiferromagnetischen Kopplungskräfte gedreht und parallel ausgerichtet. Diese Umorientierung der Magnetisierungen durch das Ma-  
25 gnetfeld hat eine stetige Abnahme des Giant-MR zur Folge, die ein Maß für die Größe des Magnetfeldes ist. Bei einer Sättigungsfeldstärke  $H_s$  tritt keine Änderung des Giant-MR mehr auf, weil sämtliche Magnetisierungen dann parallel zueinander ausgerichtet sind. Der Giant-MR hängt dabei  
30 lediglich von dem Betrag der Feldstärke ab ("Physical Review Letters", Vol. 61, No. 21, 21. Nov. 1988, Seiten 2472 - 2475).

1 Für diesen Typ mit antiferromagnetisch gekoppelten, ferro-  
magnetischen Schichten wurden auch theoretische Berechnun-  
gen durchgeführt, die eine Abhängigkeit der Strom- und der  
5 Transmissionskoeffizienten für an den Grenzflächen ge-  
streute Elektronen mit Spin-up und solche mit Spin-down  
von dem Winkel zwischen den Magnetisierungen in benach-  
barten ferromagnetischen Schichten aufzeigen. Aus diesen  
Berechnungen ergibt sich, daß der Giant-MR bei von  $0^\circ$  auf  
10  $180^\circ$  wachsendem Winkel zwischen den beiden Magnetisierun-  
gen stetig zunimmt und am größten bei einem Winkel von  
 $180^\circ$  ist ("Physical Review Letters", Vol. 63, No. 6,  
August 1989, Seiten 664 bis 667).

Bei dem zweiten Typ eines Giant-MR-Mehrschichtsystems sind  
15 ferromagnetische Schichten mit zueinander im Mittel paral-  
lelen Magnetisierungen in den Schichtebenen durch dia-  
oder paramagnetische Zwischenschichten aus Metall vonein-  
ander getrennt. Die Zwischenschichten sind so dick ge-  
wählt, daß die magnetische Austauschkopplung zwischen den  
20 Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten möglichst  
gering ist. Jeweils benachbarte ferromagnetische Schichten  
weisen unterschiedliche Koerzitivfeldstärken auf. Dadurch  
werden die in der Sättigung zunächst parallelen Mittel-  
werte der Magnetisierungen  $M_1$  und  $M_2$  von magnetisch wei-  
25 cheren Meßschichten und benachbarten, magnetisch härteren  
Blattschichten durch ein Magnetfeld  $H$  unterschiedlich stark  
gedreht, und es stellt sich ein vom Magnetfeld  $H$  abhängi-  
ger Winkel  $\Phi$  zwischen den Mittelwerten der Magnetisie-  
rungen  $M_1$  und  $M_2$  ein. Die Abhängigkeit der einzelnen  
30 Magnetisierungen  $M_1$  und  $M_2$  vom Magnetfeld  $H$  ergibt sich  
dabei aus den entsprechenden Hysteresekurven des magne-  
tisch weicheren bzw. des magnetisch härteren Materials.  
Zwischen den Koerzitivfeldstärken  $H_{c1}$  der weichmagneti-

- 1 schen und  $H_{c2}$  der hartmagnetischen Schichten und zwischen  
- $H_{c2}$  und - $H_{c1}$  liegt jeweils ein Bereich, in dem die Magne-  
tisierung  $M_1$  schon in Sättigung ist und die Magnetisierung  
5  $M_2$  noch ihren der Sättigung entsprechenden Wert hat und  
antiparallel zur Magnetisierung  $M_1$  gerichtet ist, d.h.  $\Phi = 180^\circ$ . In diesem Bereich ist das MR-Signal maximal und  
konstant. Verschiedene Koerzitivfeldstärken  $|H_{c1}| \leq |H_{c2}|$   
kann man durch die Wahl unterschiedlicher Materialien oder  
10 durch unterschiedliche Herstellungsprozesse bzw. die Wahl  
unterschiedlicher Dicken des gleichen Materials einstel-  
len. Bekannte Schichtstrukturen mit unterschiedlichen  
Materialien sind beispielsweise NiFe-Cu-Co-Schichtstruktu-  
ren und Fe-Cu-Co-Strukturen. Ein auf unterschiedlicher  
15 Herstellung oder unterschiedlichen Dicken beruhendes, be-  
kanntes Schichtsystem ist ein Co-Au-Co-System ("Journal  
of Applied Physics", Vol. 70, No. 10, 15. Nov. 1991, Sei-  
ten 5864 -5866). Das MR-Signal dieser bekannten Schicht-  
systeme hängt nun jedoch von ihrer Vorgeschichte ab, d.h.  
auf welchem Weg und zwischen welchen Werten für das  
20 Magnetfeld sowie in welcher Richtung die Hysteresekurven  
durchlaufen werden. Mit einem solchen Schichtsystem läßt  
sich daher kein MR-Sensor mit einer eindeutigen Kennlinie  
realisieren. Außerdem schließt sich bei diesen bekannten  
Schichtsystemen ein Teil des Magnetflusses der härteren  
25 Biasschichten über den weicheren Meßschichten. Dieses  
magnetische Störfeld verringert die Meßempfindlichkeit des  
Sensors und hat eine unerwünschte Verschiebung der Sensor-  
kennlinie zur Folge.
- 30 Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen  
Magnetowiderstands-Sensor mit einem Schichtsystem aus  
wenigstens einer Meßschicht und wenigstens einer durch  
eine Zwischenschicht von der Meßschicht austauschent-

- 1 koppelten Biasschicht anzugeben, der eine eindeutige  
Kennlinie aufweist und bei dem Störfelder der Biasschicht  
in der Meßschicht weitgehend unterdrückt werden. Insbeson-  
dere soll ein linearer Magnetowiderstands-Sensor angegeben  
5 werden. Außerdem ist ein Verfahren zur Herstellung eines  
solchen Magnetowiderstands-Sensors anzugeben.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den  
Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 20. Die Ma-  
10 gnetisierung  $\bar{M}_M$  der Meßschicht hängt wenigstens in einer  
Richtung reversibel und damit eindeutig vom zu messenden  
Magnetfeld ab und die Biasschicht ist mit einer im Meßbe-  
reich wenigstens annähernd konstanten Magnetisierung  $\bar{M}_B$   
versehen. Dadurch erhält man ein Widerstandssignal, das  
15 eindeutig von dem Magnetfeld abhängt. Um zu verhindern,  
daß sich ein Teil des Magnetflusses der Biasschicht, ins-  
besondere bei großem  $\bar{M}_B$ , über der Meßschicht schließt, ist  
nun die Biasschicht an ihrer von der Meßschicht abge-  
wandten Seite antiferromagnetisch über eine Kopplungs-  
20 schicht an eine Magnetschicht angekoppelt. Die Bias-  
schicht, die Kopplungsschicht und die Magnetschicht bilden  
einen "künstlichen Antiferromagneten", der nach außen ma-  
gnetisch weitgehend neutral ist, d.h. dessen Magnetfluß  
sich praktisch ganz zwischen der Biasschicht und der  
25 Magnetschicht schließt. Ein besonderer Vorteil dieses  
"künstlichen Antiferromagneten" ist die Stabilisierung der  
Magnetisierung  $\bar{M}_B$  der Biasschicht auch bei starken äußeren  
Magnetfeldern  $H$ . Zur Messung des Widerstands des Schicht-  
systems sind wenigstens zwei Meßkontakte vorgesehen.

30

Diese Meßkontakte können in einem Abstand voneinander  
vorzugsweise auf der obersten Schicht angeordnet sein, so  
daß der Meßstrom im Mittel parallel zu den Schichtebenen

1 fließt (cip = current-in-planes). In einer anderen Ausführungsform sind die Meßkontakte auf der obersten und der untersten Schicht angeordnet, so daß der Meßstrom senkrecht zu den Schichtebenen fließt (cpp = current-perpendicular-to-planes). Ein Schichtsystem mit derartig angeordneten cpp-Meßkontakten ist aus "Physical Review B", Vol. 46, No. 1 (1992), Seiten 548 - 551 bekannt.

10 In einem vorteilhaften, symmetrischen Aufbau ist auf der anderen Seite der Magnetschicht eine weitere Biasschicht angeordnet, die über eine Kopplungsschicht mit der Magnetschicht antiferromagnetisch gekoppelt ist.

15 Vorzugsweise ist die Meßschicht mit einer magnetischen Vorzugsachse  $A_M$  versehen. Die Meßschicht kann allerdings auch aus einem superparamagnetischen Material gewählt sein. Dann ist ihre Magnetisierung  $M_M$  in allen Richtungen reversibel vom Magnetfeld abhängig.

20 Im Grundzustand, d.h. wenn kein Magnetfeld anliegt, stellt sich eine Grundzustandsmagnetisierung  $M_{MO}$  der Meßschicht ein. Diese Grundzustandsmagnetisierung  $M_{MO}$  der Meßschicht ist nun in einer Ausführungsform parallel zur Magnetisierung oder den Magnetisierungen  $M_B$  der Biasschicht bzw. der Biasschichten parallel gerichtet. Dazu wird die Meßschicht entlang einer parallel zur Magnetisierung  $M_B$  gerichteten Vorzugsachse magnetisiert.

30 In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform sind die Grundzustandsmagnetisierung  $M_{MO}$  der Meßschicht und die feste Magnetisierung  $M_B$  der Biasschicht wenigstens annähernd senkrecht zueinander gerichtet. Dadurch wird der Arbeitspunkt des Sensors bei nicht vorhandenem Magnetfeld



1 H = 0 in einem Bereich eingestellt, in dem die Kennlinie  
wenigstens annähernd linear ist und eine maximale Steigung  
aufweist.

5 Um die Magnetisierungen  $\bar{M}_{MO}$  und  $\bar{M}_B$  wenigstens annähernd  
senkrecht zueinander auszurichten, wird die Meßschicht  
vorzugsweise mit einer magnetischen Vorzugsachse  $A_M$  ver-  
sehen, die wenigstens annähernd senkrecht zur festen Mag-  
netisierung  $\bar{M}_B$  der Biasschicht gerichtet ist, und entlang  
10 dieser Vorzugsachse  $A_M$  magnetisiert.

In einer anderen Ausführungsform wird die sogenannte 90°-  
Kopplung ausgenutzt. Die Dicke der Zwischenschicht wird  
auf einen Wert eingestellt, bei dem die magnetische Aus-  
15 tauschkopplung zwischen Meßschicht und Biasschicht ihr  
Vorzeichen wechselt, d.h. von einer ferromagnetischen in  
eine antiferromagnetische Kopplung übergeht bzw. umge-  
kehrt. Durch die statistischen Schwankungen der Dicke  
stellt sich nun die Grundzustandsmagnetisierung  $\bar{M}_{MO}$  der  
20 Meßschicht im Mittel automatisch unter einem Winkel von  
90° zur Magnetisierung  $\bar{M}_B$  der Biasschicht ein.

Bei verschiedenen Materialien und verschiedener Geometrie  
der Schichten kann es zur Kompensation der entstehenden  
25 entmagnetisierenden Felder erforderlich sein, einen etwas  
von 90° abweichenden Winkel zwischen  $\bar{M}_{MO}$  und  $\bar{M}_B$  einzustel-  
len, um den für Linearität und Empfindlichkeit des Sensors  
optimalen Arbeitspunkt zu erreichen.

30 Stärkere Abweichungen von der wenigstens annähernd senk-  
rechten Ausrichtung der Magnetisierungen  $\bar{M}_{MO}$  und  $\bar{M}_B$  zuein-  
ander verschlechtern die Empfindlichkeit und die Lineari-  
tät des Sensors.

1 Eine Ursache für solche störende Abweichungen des Winkels  
zwischen den beiden Magnetisierungen  $\vec{M}_{MO}$  und  $\vec{M}_B$  von den  
gewünschten etwa  $90^\circ$  kann sein, wenn sich immer noch ein  
Rest des magnetischen Flusses der Biasschicht über der  
5 Meßschicht schließt. Die Grundzustandsmagnetisierung  $\vec{M}_{MO}$   
in der Meßschicht wird dann im ungünstigsten Fall dieser  
magnetostatischen Kopplung von Meßschicht und Biasschicht  
schon antiparallel zur Magnetisierung  $\vec{M}_B$  in der Bias-  
schicht ausgerichtet, ohne daß ein Magnetfeld anliegt.

10 In einer besonderen Ausführungsform ist die Meßschicht  
zur zusätzlichen magnetostatischen Entkopplung von der  
Biasschicht wenigstens in Richtung der Magnetisierung  $\vec{M}_B$   
der Biasschicht und vorzugsweise ringsum außen kürzer  
15 ausgebildet als wenigstens die Biasschicht. Vorzugsweise  
werden die Übergänge zwischen den Randbereichen ohne Meß-  
schicht und dem mittleren Meßbereich mit der Meßschicht  
fließend gestaltet. Beispielsweise kann die Dicke der  
Meßschicht in diesen Übergangsbereichen zur Mitte hin  
20 kontinuierlich zunehmen.

In einer weiteren Ausführungsform ist zur weiteren magne-  
tostatischen Entkopplung die Magnetisierung  $|\vec{M}_B|$  der Bias-  
schicht niedriger gewählt als die Grundzustandsmagnetisie-  
25 rung  $|\vec{M}_{MO}|$  der Meßschicht.

Auch aufgrund von entmagnetisierenden Feldern vor allem  
in den Randbereichen der Schichten und insbesondere in der  
Biasschicht können Abweichungen von den vorgegebenen  
30 Richtungen für die Magnetisierungen  $\vec{M}_{MO}$  und  $\vec{M}_B$  auftreten.  
Deshalb sind in einer bevorzugten Ausführungsform die  
Meßkontakte zur Widerstandsmessung in einen inneren Meßbe-  
reich des Schichtsystems verlegt, um den Einfluß dieser  
Randbereiche auf das Meßsignal zu vermeiden.

1 In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform sind die  
Schichten länglich ausgebildet, wobei ihre Längsrichtung  
senkrecht zur Grundzustandsmagnetisierung  $\vec{M}_{M0}$  der Meß-  
schicht verläuft. Dadurch ist die relative Lage der Grund-  
5 zustandsmagnetisierung  $\vec{M}_{M0}$  und der Magnetisierung  $\vec{M}_B$  zu-  
einander besonders stabil. Zudem erreicht man eine hohe  
Empfindlichkeit des Sensors und verringert die Verschie-  
bung seiner Kennlinie, weil die von der Meßschicht bzw.  
der Biasschicht erzeugten entmagnetisierenden Felder stark  
10 abgeschwächt werden und ihr dem zu messenden Magnetfeld  
entgegenwirkender Einfluß verringert wird.

Zur Magnetflußumlenkung und für eine geringere Domänen-  
bildung kann in einer weiteren Ausführungsform wenigstens  
15 eine Meßschicht durch zwei Meßschichten mit antiparallel  
zueinander gerichteten Magnetisierungen ersetzt werden, die  
durch eine Zwischenschicht getrennt sind. Vorzugsweise  
sind beide Magnetisierungen gegen die Normalenrichtung zur  
Magnetisierung  $\vec{M}_B$  der Biasschicht so geneigt, daß sie  
20 einen Winkel kleiner als  $180^\circ$  einschließen. Dadurch wird  
die Bildung von Domänen in den Meßschichten verringert.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform werden  
die Materialien für die Schichten des Sensors derart  
25 gewählt, daß der spezifische Widerstand für denjenigen  
Elektronentyp, der in der Meßschicht bei parallel zu-  
einander gerichteten Magnetisierungen  $\vec{M}_M$  und  $\vec{M}_B$  in Meß-  
schicht und Biasschicht nur wenig gestreut wird, auch in  
den anderen Schichten, insbesondere der Magnetschicht des  
30 künstlichen Antiferromagneten, und an ihren Grenzflächen  
möglichst gering ist. Bei einer solchen Wahl erreicht man  
einen sehr guten Kontrast zwischen dem maximalen und dem  
minimalen Magnetowiderstandssignal. Als entscheidende

1 Parameter werden dabei die Verhältnisse von spezifischem  
Widerstand für die Minoritätsträger und spezifischen  
Widerstand für die Majoritätsträger in den einzelnen  
5 Schichten und an ihren Grenzflächen eingestellt. Diese  
Parameter werden durch die jeweiligen Wirtsmaterialien und  
Fremdatome als Streuzentren bestimmt. Die parallele Aus-  
richtung der Magnetisierungen  $\vec{M}_M$  und  $\vec{M}_B$  kann dabei schon  
im Grundzustand oder erst bei einem parallel zu  $\vec{M}_B$  an-  
liegenden Magnetfeld vorliegen.

10

Die bisher beschriebenen Ausführungsformen von Schicht-  
subsystemen können miteinander kombiniert werden und in  
einem Stapel aus einer Vielzahl solcher Subsysteme ange-  
ordnet werden. Die Zahl dieser Schichtsubsysteme wird im  
15 allgemeinen zwischen 1 und 100 gewählt. Das Basissubsystem  
ist das System Meßschicht-Zwischenschicht- "künstlicher  
Antiferromagnet", wobei der "künstliche Antiferromagnet"  
aus Biasschicht, Kopplungsschicht und Magnetschicht oder  
im symmetrischen Aufbau aus zwei Biasschichten mit einer  
20 dazwischen angeordneten und jeweils über eine Kopplungs-  
schicht antiferromagnetisch an die Biasschichten gekop-  
pelten Magnetschicht bestehen kann. Die Magnetisierungen  
 $\vec{M}_B$  der Biasschichten sind in allen Ausführungsformen  
gleich gerichtet. Die Grundzustandsmagnetisierungen  $\vec{M}_{MO}$   
25 der Meßschichten sind entweder kollinear oder senkrecht zu  
den Magnetisierungen  $\vec{M}_B$  der Biasschichten gerichtet. Die  
Subsysteme sind jeweils durch eine weitere Zwischenschicht  
voneinander getrennt.

30

Ein Magnetowiderstands-Sensor gemäß der Erfindung, ins-  
besondere der "künstliche Antiferromagnet", kann auf  
mehreren Wegen hergestellt werden.

1 Eine Möglichkeit besteht darin, für die Biasschicht und  
die Magnetschicht des "künstlichen Antiferromagneten"  
Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken zu  
wählen. Die beiden Schichten werden in einem uniformen  
5 Biasmagnetfeld, das größer ist als beide Koerzitivfeld-  
stärken, gesättigt. Bei abnehmendem Magnetfeld richtet  
sich nun die Magnetisierung des magnetisch weicheren Mate-  
rials wegen der antiferromagnetischen Austauschkoppelung  
antiparallel zur Magnetisierung des magnetisch härteren  
10 Materials aus.

Eine zweite Möglichkeit ist das Einprägen einer feldindu-  
zierten Vorzugsachse in die Biasschicht durch ein Bias-  
magnetfeld während der Ablagerung der Schichten in einem  
15 Vakuumsystem und ein anschließendes Magnetisieren der  
Biasschicht entlang dieser Vorzugsachse. Die Magnetisie-  
rung der antiferromagnetisch gekoppelten Magnetschicht  
stellt sich dann von selbst antiparallel zur Magnetisie-  
rung  $M_B$  der Biasschicht ein. Es kann allerdings auch um-  
20 gekehrt die Magnetschicht mit einer Vorzugsachse versehen  
werden und entlang dieser Vorzugsachse magnetisiert wer-  
den.

Eine dritte Möglichkeit der Herstellung des künstlichen  
25 Antiferromagneten bietet die Wahl zweier magnetischer  
Materialien mit unterschiedlicher Curietemperatur und  
wenigstens annähernd gleicher Magnetisierung bei Raum-  
temperatur bzw. allgemein der Einsatztemperatur des  
Sensors für die Biasschicht und die Magnetschicht. Die  
30 Biasschicht und die Magnetschicht werden zusammen mit der  
dazwischen angeordneten Kopplungsschicht auf eine Einprä-  
getemperatur gebracht, bei der sich die Magnetisierbar-  
keiten der beiden Materialien unterscheiden, und in einem

1 temperaturabhängigen Biasmagnetfeld gesättigt, das wenig-  
stens bei der Einprägetemperatur einen von Null verschie-  
denen Wert zum Sättigen hat und beispielsweise kontinuier-  
lich oder sprunghaft von der Temperatur abhängen kann.  
5 Liegt die Einprägetemperatur oberhalb der Einsatztempera-  
tur, so wird die Schicht mit der höheren Curietemperatur  
stärker magnetisiert. Bei einer tiefer als die Einsatz-  
temperatur liegenden Einprägetemperatur wird im allgemei-  
nen die Schicht mit der niedrigeren Curietemperatur stär-  
10 ker magnetisiert. Bei einer darauffolgenden Temperatur-  
änderung auf die Einsatztemperatur wird sich die Magneti-  
sierung der stärker magnetisierten Schicht nicht mehr  
ändern und die Magnetisierung der anderen Schicht wird  
durch die antiferromagnetische Kopplung antiparallel aus-  
15 gerichtet. Im allgemeinen wird die Einprägetemperatur  
höher gewählt als die Einsatztemperatur.

Die drei genannten Möglichkeiten der Wahl der Material-  
eigenschaften für den "künstlichen Antiferromagneten"  
20 können natürlich auch beliebig kombiniert werden.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeich-  
nung Bezug genommen, in deren  
FIG. 1 und 2 jeweils eine Ausführungsform eines Magneto-  
25 widerstands-Sensors gemäß der Erfindung im Quer-  
schnitt,  
FIG. 3 eine Ausführungsform mit nach innen verlegten Meß-  
kontakten in der Draufsicht,  
FIG. 4 eine Ausführungsform mit Randbereichen ohne Meß-  
30 schicht im Querschnitt und  
FIG. 5 eine Ausführungsform mit zwei benachbarten Meß-  
schichten im Querschnitt  
schematisch dargestellt sind.

1 FIG. 1 zeigt eine Ausführungsform eines Magnetowiderstand-  
Sensors mit einem Schichtsystem, das aus einer magneti-  
schen Meßschicht 2 und einer magnetischen Biasschicht 6,  
5 einer dazwischen angeordneten, nicht magnetischen Zwi-  
schenschicht 4, sowie einer an die von der Meßschicht 2  
abgewandten Seite der Biasschicht 6 über eine Kopplungs-  
schicht 8 antiferromagnetisch angekoppelte Magnetschicht  
10 gebildet ist. Alle Schichten bestehen aus einem elek-  
trisch leitendem Material, und ihre Dicken sind wesentlich  
10 kleiner als die mittlere freie Weglänge der Leitungselek-  
tronen. Die Meßschicht 2 weist eine Grundzustandsmagne-  
tisierung  $\bar{M}_{MO}$  entlang einer Vorzugsachse auf, die mit  $A_M$   
bezeichnet ist und in der Schichtebene der Meßschicht 2  
verläuft. Die Biasschicht 6 ist mit einer festen Magneti-  
15 sierung  $\bar{M}_B$  in ihrer Schichtebene versehen, die wenigstens  
annähernd senkrecht zur Vorzugsachse  $A_M$  der Meßschicht 2  
gerichtet ist und in der Zeichenebene dargestellt ist. Die  
Magnetisierung  $\bar{M}_B$  kann allerdings auch umgekehrt gerichtet  
sein. Durch die wenigstens annähernd orthogonale Ausrich-  
20 tung der Vorzugsachse  $A_M$  und damit der Grundzustands-  
magnetisierung  $\bar{M}_{MO}$  relativ zur Magnetisierung  $\bar{M}_B$  liegt der  
Arbeitspunkt des Sensors in dieser bevorzugten Ausführ-  
ungsform in einem wenigstens annähernd linearen Bereich  
der Kennlinie mit zugleich der größten Steigung. Der  
25 Winkel zwischen den beiden Magnetisierungen  $\bar{M}_{MO}$  und  $\bar{M}_B$   
kann zur Kompensation von entmagnetisierenden Feldern  
etwas von  $90^\circ$  abweichen.

30 Wegen der antiferromagnetischen Kopplung ist die Mag-  
netisierung  $\bar{M}_{AF}$  der Magnetschicht 10 antiparallel zur Mag-  
netisierung  $\bar{M}_B$  der Biasschicht 6 gerichtet. Die Bias-  
schicht 6, die Kopplungsschicht 8 und die Magnetschicht  
10 bilden zusammen einen "künstlichen Antiferromagneten",

1 der nach außen weitgehend magnetisch neutral ist, weil der  
Magnetfluß im wesentlichen nur zwischen der Biasschicht 6  
und der Magnetschicht 10 verläuft. Die Richtung der Mag-  
netisierung  $\vec{M}_B$  der Biasschicht 6 ist dadurch auch bei  
5 hohen äußeren Feldern sehr stabil.

Wird nun ein in FIG. 1 nicht dargestelltes Magnetfeld  $\vec{H}$  in  
der Schichtebene angelegt, dann ändert sich die Magneti-  
sierung  $\vec{M}_M$  in der Meßschicht 2 aus der Grundzustandsmagne-  
tisierung  $\vec{M}_{M0}$  und die Magnetisierung  $\vec{M}_B$  der Biasschicht 6  
10 bleibt im wesentlichen unverändert. Eine Komponente  $\vec{H}_V$  des  
Magnetfeldes  $\vec{H}$  senkrecht zur Vorzugsachse  $A_M$  der Meß-  
schicht 2 dreht die Magnetisierung  $\vec{M}_M$  der Meßschicht 2 in  
Richtung zur Magnetisierung  $\vec{M}_B$  bzw.  $-\vec{M}_B$ , entsprechend der  
15 Feldrichtung  $\vec{H}$ . In der Sättigung sind die beiden Magne-  
tisierungen  $\vec{M}_M$  und  $\vec{M}_B$  dann parallel bzw. antiparallel  
gerichtet. Dieser Drehprozeß erzeugt ein Giant-Magneto-  
widerstandssignal in Abhängigkeit vom Drehwinkel. Eine  
Komponente  $\vec{H}_P$  des Magnetfeldes  $\vec{H}$  parallel zur Vorzugsachse  
20  $A_M$  dagegen bewirkt eine Domänenwandverschiebung und somit  
lediglich eine Richtungsumkehr der Magnetisierung  $\vec{M}_M$  an  
den Domänenwänden. Ein Magnetowiderstandssignal wird  
dadurch nicht erzeugt. Bei einem Magnetfeld senkrecht zur  
Schichtebene finden wegen der hohen entmagnetisierenden  
25 Felder in der Meßschicht 2 ebenfalls praktisch keine  
Drehprozesse statt, und damit wird auch kein Magnetowider-  
standssignal gemessen. Der Magnetowiderstands-Sensor ist  
also im wesentlichen nur empfindlich für die Komponente  $\vec{H}_V$   
des Magnetfeldes  $\vec{H}$ , die orthogonal zur Vorzugsachse  $A_M$  in  
30 dieser Ausführungsform bzw. allgemein zur Grundzustands-  
magnetisierung  $\vec{M}_{M0}$  der Meßschicht 2 gerichtet ist.

Die Magnetisierung  $\vec{M}_B$  der Biasschicht 6 soll in dem Meß-



1     bereich des anliegenden Feldes  $H$  konstant bleiben und  
insbesondere sich nicht in der Schichtebene drehen. Dazu  
kann in einer Ausführungsform in die wenigstens eine Bias-  
schicht eine magnetische, uniaxiale Anisotropie, insbeson-  
5     dere eine Kristallanisotropie, eine feldinduzierte Aniso-  
tropie oder eine spannungsinduzierte Anisotropie, einge-  
prägt werden. Die Biasschicht wird dann entlang der Aniso-  
tropieachse magnetisiert.

10    In einer Ausführungsform gemäß FIG. 2 ist ein "künst-  
licher Antiferromagnet" mit einem symmetrischen Aufbau  
vorgesehen. Die Magnetschicht 10 ist auf einer Seite  
wieder über die Koppelungsschicht 8 an die Biasschicht 6  
antiferromagnetisch angekoppelt. Auf der anderen Seite der  
15    Magnetschicht 10 sind nun eine weitere Kopplungsschicht 8'  
und darauf eine weitere Biasschicht 6' angeordnet. Die Bias-  
schicht 6' und die Magnetschicht 10 sind ebenfalls antiferro-  
magnetisch gekoppelt, sodaß die Magnetisierungen  $\vec{M}_B$  und  $\vec{M}_{B'}$   
der beiden Biasschichten 6 und 6' parallel zueinander und  
20    beide antiparallel zur Magnetisierung  $\vec{M}_{AF}$  der Magnet-  
schicht 10 gerichtet sind. Auf der Biasschicht 6 ist wieder  
die Zwischenschicht 4 und auf dieser die Meßschicht 2 an-  
geordnet. Auch an die Biasschicht 6' können sich eine wei-  
tere Zwischenschicht und eine weitere Meßschicht anschließen.  
25    In der dargestellten Ausführungsform ist die Magnetisierung  $\vec{M}_M$   
der Meßschicht 2 parallel zu den Magnetisierungen  $\vec{M}_B$  und  
 $\vec{M}_{B'}$  der Biasschichten 6 und 6' gerichtet. In diese Lage  
kann die Magnetisierung  $\vec{M}_M$  aus der zu  $\vec{M}_B$  orthogonalen  
Grundzustandsmagnetisierung  $\vec{M}_{M0}$  durch ein Magnetfeld  $\vec{H}$   
30    gedreht worden sein oder auch in einer nicht dargestellten  
Ausführungsform schon im Grundzustand eingestellt sein,  
beispielsweise durch Einprägen einer entsprechenden Vor-  
zugsachse.

1 Zur Widerstandsmessung sind, vorzugsweise auf der obersten  
Schicht des Schichtsystems, zwei Meßkontakte in einem  
Abstand zueinander angeordnet, der vorzugsweise wesentlich  
größer als die Dicke des Schichtsystems ist (cip). In  
5 einer anderen Ausführungsform sind die Meßkontakte auf der  
Oberseite und der Unterseite des Schichtsystems angeordnet  
(cpp). Ihr Abstand entspricht dann der Dicke des Schicht-  
systems. Typische Dicken des gesamten Schichtsystems  
liegen zwischen 3 nm und 400 nm und typische Abstände der  
10 Meßkontakte in einem Bereich von 3 nm bis 1 mm. Zwischen  
den beiden - in FIG. 2 nicht dargestellten - Meßkontakten  
bildet sich in dem gesamten Schichtsystem ein elektri-  
scher Strom von Leitungselektronen aus. Dieser Strom läßt  
sich aus zwei nicht wechselwirkenden Teilströmen super-  
15 ponieren, die sich aus Elektronen unterschiedlichen Spins  
zusammensetzen. In den magnetisierten Schichten gibt es  
nun einen Teilstrom von Majoritätselektronen, deren Spins  
im Mittel parallel zur Magnetisierung der entsprechenden  
Schicht gerichtet sind, und einen Teilstrom von Minori-  
20 tätsträgern mit im Mittel antiparallel zur Magnetisierung  
gerichteten Spins. In magnetischen Übergangsmetallen, die  
vorzugsweise als Materialien für diese Schichten vorge-  
sehen sind, sind die Streuquerschnitte der aus Fremdatomen  
gebildeten Streuzentren für Elektronen mit unterschiedli-  
25 chem Spin unterschiedlich groß. Solche Streuzentren be-  
finden sich sowohl innerhalb der magnetischen Schichten  
als auch an ihren Grenzflächen. Die Streuung der Elektro-  
nen in den nicht-magnetischen Zwischenschichten und den  
Kopplungsschichten ist dagegen spinunabhängig. Somit  
30 weisen sowohl die magnetischen Schichten als auch die  
Grenzflächen zu diesen Schichten für Majoritätselektronen  
und Minoritätselektronen unterschiedliche spezifische  
Widerstände  $RH_{OAJ}$  bzw.  $RH_{OMIN}$  auf. Das Verhältnis  $ALPHA =$

- 1 RHOMIN/RHOMAJ des Widerstandes RHOMIN für die Minoritäts-  
träger zum Widerstand RHOMAJ für die Majoritätsträger ist  
abhängig vom Wirtsmaterial und den Defekten.
- 5 Um einen möglichst großen Unterschied zwischen minimalem  
und maximalem Giant-Magnetowiderstandssignal zu erhalten,  
werden nun die Materialien für die einzelnen Schichten so  
gewählt, daß die Elektronen mit dem geringeren Widerstand  
in der Meßschicht 2 bei parallel zueinander gerichteten  
10 Magnetisierungen  $\bar{M}_M$  und  $\bar{M}_B$  der Meßschicht 2 und der Bias-  
schicht 6 auch in allen anderen magnetischen Schichten und  
an allen Grenzflächen zwischen den Schichten weniger ge-  
streut werden. Das erreicht man, indem man die Parameter  
ALPHA für die Schichten mit zur Meßschicht 2 paralleler  
15 Magnetisierung und für ihre Grenzflächen alle größer oder  
alle kleiner als eins wählt. Das bedeutet in der darge-  
stellten Ausführungsform, daß die Parameter ALPHA für die  
Meßschicht 2, ihre Grenzfläche zur Zwischenschicht 4, für  
die Biasschicht 6 und ihre beiden Grenzflächen zur Zwi-  
20 schenschicht 4 bzw. zur Kopplungsschicht 8 und für die  
weitere Biasschicht 6' und ihre Grenzfläche zur Kopp-  
lungsschicht 8' entweder alle größer oder alle kleiner als  
eins eingestellt werden.
- 25 In der Magnetschicht 10 ist nun die Magnetisierung  $\bar{M}_{AF}$   
antiparallel zu den Magnetisierungen  $\bar{M}_M$ ,  $\bar{M}_B$  und  $\bar{M}_{B'}$  der  
anderen magnetisierten Schichten gerichtet. Elektronen,  
die in der Meßschicht 2 und den Biasschichten 6 und 6'  
Majoritätsträger sind, werden in der Magnetschicht 10  
30 daher zu Minoritätsträgern und umgekehrt. Deshalb werden  
die Parameter ALPHA für die Magnetschicht 10 und ihre  
beiden Grenzflächen zu den Koppelungsschichten 8 und 8'  
größer als eins gewählt, wenn die ALPHAs der anderen

1 magnetisierten Schichten und ihrer Grenzflächen kleiner  
als eins sind, und kleiner als eins, wenn die anderen  
ALPHAs größer eins sind. Vorzugsweise werden die ALPHAs  
der Meßschicht 2 und der Biasschichten 6 und 6' sowie  
5 ihrer Grenzflächen größer als eins und der Magnetschicht  
10 und ihrer Grenzflächen kleiner eins gewählt. Dann trägt  
zum Strom zwischen den Meßkontakten hauptsächlich nur der  
Teilstrom der Majoritätsträger bei, wenn die Magnetisierung  
 $\bar{M}_M$  parallel zu  $\bar{M}_B$  ist.

10 Dreht nun ein äußeres Magnetfeld  $\bar{H}$  die Magnetisierung  $\bar{M}_M$   
der Meßschicht 2 in eine zur Magnetisierung  $\bar{M}_B$  der Bias-  
schicht 6 antiparallele Lage, so werden die bisherigen  
Majoritätselektronen in der Meßschicht 2 zu Minoritäts-  
15 elektronen in den Biasschichten 6 und somit in dem gesam-  
ten Schichtssystem stark gestreut. Damit steigt das Giant-  
Widerstandssignal auf seinen maximalen Wert.

20 In einer vorteilhaften Ausführungsform gemäß FIG. 3 sind  
die Schichten als längliche Streifen ausgebildet, deren  
Längsrichtung senkrecht zur Grundzustandsmagnetisierung  
 $\bar{M}_{M0}$  der Meßschicht 2 und damit auch parallel zur Magne-  
tisierung  $\bar{M}_B$  der Biasschicht 6 verläuft. Durch diese Maß-  
nahme werden die dem Meßfeld entgegengesetzt gerichteten  
25 entmagnetisierenden Felder deutlich abgeschwächt und somit  
die Empfindlichkeit des Sensors erhöht sowie eine Ver-  
schiebung der Meßkennlinie vermieden. An den Enden 15 und  
16 der Meßschicht 2 treten jedoch immer noch entmagne-  
tisierende Felder auf, die eine Messung im Bereich dieser  
30 Enden 15 und 16 verfälschen. Deshalb sind zwei zur Wider-  
standsmessung vorgesehene Meßkontakte 11A und 11B in  
Längsrichtung um einen Abstand a bzw. b nach innen ver-  
setzt. Vorzugsweise sind beide Abstände a und b gleich

1 groß. Die Meßkontakte 11A und 11B sind vorzugsweise auf der Meßschicht 2 angeordnet, können aber auch auf einer Biasschicht oder einer Zwischenschicht angeordnet sein.

5 In einer nicht dargestellten Ausführungsform mit cpp-Meßkontakten können die Meßkontakte ebenfalls in einen inneren Meßbereich verlegt sein.

10 Um den Magnetfluß der Biasschichten 6 über den Meßschichten 2 weiter zu unterdrücken, sind in einer bevorzugten Ausführungsform gemäß FIG. 4 zwei Randbereiche 21 und 25 vorgesehen, in denen keine Meßschicht 2 vorhanden ist, und ein mittlerer Meßbereich 23 mit Meßschichten 2. Diese Verkürzung der Meßschichten 2 wird wenigstens in Richtung parallel zur Magnetisierung  $M_B$  der Biasschicht 6 und vorzugsweise in allen Richtungen vorgenommen, so daß die Biasschichten 6 ringsum über die Meßschichten hinausragen. Die Zwischenschichten 4 sind vorzugsweise so lang wie die Biasschichten 6. Der "künstliche Antiferromagnet" besteht in der dargestellten Ausführungsform aus zwei Biasschichten 6 und 6' und einer mittleren Magnetschicht 10 mit einer Magnetisierung  $M_{AF}$ , die über jeweils eine Kopplungsschicht 8 oder 8' mit den Biasschichten 6 bzw. 6' antiferromagnetisch gekoppelt ist. Auf jeder Biasschicht 6 und 6' ist im Meßbereich 23 eine Zwischenschicht 4 und darauf eine Meßschicht 2 angeordnet. Es können natürlich auch wieder mehrere Subsysteme gemäß den in FIG. 1 oder 2 dargestellten Ausführungsformen vorgesehen sein. Die Magnetisierungen  $M_M$  der Meßschichten 2 sind, vorzugsweise durch ein nicht dargestelltes äußeres Sättigungsmagnetfeld, parallel zu den Magnetisierungen  $M_B$  gerichtet.

15  
20  
25  
30

Zwischen den Randbereichen 21 und 25 und dem Meßbereich 23

20

1 ist jeweils ein Übergangsbereich 22 bzw. 24 vorgesehen, in  
dem die Dicke der Meßschichten 2 von außen nach innen  
kontinuierlich zunimmt. Während die Biasschichten 6 und  
die Zwischenschichten 4 in den Übergangsbereichen 22  
5 und 24 wenigstens annähernd genauso dick sind wie in den  
Randbereichen 21 und 25 sowie im Meßbereich 23, nehmen die  
Dicken  $d$  der Meßschichten 2 in den Übergangsbereichen 22  
und 24 unter einem bestimmten Öffnungswinkel von  $d=0$  in  
den Randbereichen 21 und 25 bis zu einem konstanten Wert  
10  $d=d_M$  im Meßbereich 23 linear zu.

In einer nicht dargestellten Ausführungsform können zwischens  
den Randbereichen 21 und 25 und dem Meßbereich 23  
jeweils eine Stufe sein, deren Höhen der Gesamtdicke der  
15 in den Randbereichen 21 und 25 fehlenden Meßschichten 2  
entspricht.

In einer Ausführungsform gemäß FIG. 5 ist wenigstens eine  
Meßschicht 6 durch zwei Meßschichten 2' und 2" ersetzt.  
20 Die Grundzustandsmagnetisierungen  $M_{MO}'$  und  $M_{MO}''$  dieser  
beiden Meßschichten 2' und 2" sind nun, vorzugsweise durch  
Einprägen entsprechender Vorzugsachsen, antiparallel zu-  
einander gerichtet und vorzugsweise gleich groß, d.h.  
 $M_{MO}' = -M_{MO}''$ . Damit bleibt der Magnetfluß der Meßschichten  
25 2' und 2" im wesentlichen auf die Meßschichten 2' und 2"  
selbst beschränkt und greift nicht auf die benachbarten  
Biasschichten 6 über. Die Biasschichten 6 sind jeweils mit  
gleichgerichteten Magnetisierungen  $M_B$  versehen, die zu-  
zumindest annähernd senkrecht zu den Grundzustandsmagne-  
30 tisierungen  $M_{MO}'$  und  $M_{MO}''$  der Meßschichten 2' bzw. 2" ge-  
richtet sind.

Wegen Schwankungen in den Richtungen der Vorzugsachsen und

1 einem daraus resultierenden nicht eindeutigen Drehsinn  
für die Magnetisierungen  $M_M'$  und  $M_M''$  aus den Grundzu-  
standsmagnetisierungen  $M_{MO}'$  bzw.  $M_{MO}''$  bilden sich im  
allgemeinen nach Sättigung in den Meßschichten 2' und 2"  
5 bei kleineren Feldwerten Domänen. In einer besonderen,  
nicht dargestellten Ausführungsform sind die Grundzu-  
standsmagnetisierungen  $M_{MO}'$  und  $M_{MO}''$  der beiden Meß-  
schichten 2' bzw. 2" zur Vermeidung dieser Domänenbildung  
jeweils um einen kleinen Winkel gegen die Normalenrichtung  
10 zur Magnetisierung  $M_B$  der Biasschichten 6 in unterschied-  
lichem Drehsinn eingestellt, so daß sie einen Winkel von  
etwas weniger als  $180^\circ$  miteinander einschließen. Dies kann  
durch Einprägen entsprechend zueinander geneigter Vorzugs-  
achsen in die entsprechenden Meßschichten 2' und 2" er-  
15 reicht werden. Dadurch ist für jede der beiden Magnetisie-  
rungen  $M_M'$  und  $M_M''$  bei Anliegen eines Magnetfeldes  $H$  ein  
eindeutiger Drehsinn aus der Sättigung vorgegeben.

20 Als magnetische Materialien für die Meßschichten können  
beispielsweise Co, Fe, Ni, SmCo oder auch TbFeCo und für  
die Biasschichten  $Ni_{80}Fe_{20}$  oder auch  $Ni_{66}CoFe$  vorgesehen  
sein. Die Zwischenschichten bestehen vorzugsweise aus Cu,  
Au, Ag oder Cr.

25

30

## 1 Patentansprüche

1. Magnetowiderstands-Sensor mit

a) einem Schichtsystem mit folgenden Merkmalen:

5 a1) Es ist wenigstens eine Meßschicht (2) vorgesehen mit einer wenigstens in einer Richtung reversibel von einem anliegenden Magnetfeld ( $\vec{H}$ ) abhängenden Magnetisierung ( $\vec{M}_M$ ) in der Schichtebene, wobei diese Magnetisierung ( $\vec{M}_M$ ) bei fehlendem Magnetfeld ( $\vec{H}$ ) einer vorgegebenen Grundzustandsmagnetisierung ( $\vec{M}_{MO}$ ) entspricht;

10 a2) auf wenigstens einer Seite der Meßschicht (2) ist eine Biasschicht (6) mit einer im Meßbereich des Magnetfeldes ( $\vec{H}$ ) wenigstens annähernd konstanten Magnetisierung ( $\vec{M}_B$ ) in der Schichtebene vorgesehen, die von der Meßschicht (2) durch eine Zwischenschicht (4) wenigstens annähernd magnetisch austauschkoppelt ist;

15 a3) an wenigstens eine Biasschicht (6) ist über eine Kopplungsschicht (8) eine Magnetschicht (10) antiferromagnetisch angekoppelt;

20 und

d) Meßkontakten (11A und 11B) an dem Schichtsystem zum Erfassen eines Widerstandssignals, das ein Maß für das anliegende Magnetfeld ( $\vec{H}$ ) ist.

25

2. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an die Magnetschicht (10) an ihrer von der einen Biasschicht (6) abgewandten Seite eine weitere Biasschicht (6') über eine weitere Kopplungsschicht (8') antiferromagnetisch angekoppelt ist.

30

3. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 1 oder 2,



1     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     d a ß   f ü r  
jede Biasschicht (6, 6') ein Material mit einer von der  
Magnetschicht (10) verschiedenen Curietemperatur vorge-  
sehen ist.

5     4. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der Ansprüche 1  
bis 3,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß für jede Biasschicht (6, 6') ein Material mit einer  
von der Magnetschicht (10) verschiedenen Koerzitivfeld-  
10     stärke vorgesehen ist.

15     5. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß jede Biasschicht (6, 6') entlang einer Vorzugsachse  
magnetisiert ist.

20     6. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Grundzustandsmagnetisierung ( $\vec{M}_{M0}$ ) der Meßschicht  
(2) und die Magnetisierung ( $\vec{M}_B$ ) der Biasschicht (6)  
wenigstens annähernd senkrecht zueinander gerichtet sind.

25     7. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der Ansprüche 1  
bis 5,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Grundzustandsmagnetisierung ( $\vec{M}_{M0}$ ) der Meßschicht  
(2) und die Magnetisierung ( $\vec{M}_B$ ) der Biasschicht (6) paral-  
lel zueinander gerichtet sind.

30     8. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Materialien für die Schichten derart gewählt sind,  
daß bei einer parallelen Ausrichtung der Magnetisierungen  
( $\vec{M}_M$  und  $\vec{M}_B$ ) der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) der

1 in der Meßschicht (2) am wenigsten gestreute Elektronentyp  
in mit dem einen Spinzustand auch in allen anderen magne-  
tischen Schichten und an deren Grenzflächen weniger ge-  
streut wird als der Elektronentyp mit dem anderen Spizu-  
5 stand.

9. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Magnetisierung ( $\bar{M}_B$ ) der Biasschicht (6) betrags-  
mäßig kleiner gewählt ist als die Grundzustandsmagne-  
10 tisierung ( $M_{MO}$ ) der Meßschicht (2).

10. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h -  
n e t , daß die Meßschicht (2) und die Biasschicht (6)  
in einer Längsrichtung senkrecht zur Grundzustandsmagne-  
tisierung ( $M_{MO}$ ) der Meßschicht (2) bevorzugt ausgedehnt  
15 sind.

20 11. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h -  
n e t , daß die Meßschicht (2) wenigstens in einer Rich-  
tung parallel zur Magnetisierung ( $M_B$ ) der Biasschicht (6)  
kürzer ausgebildet ist als die Biasschicht (6).

25 12. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 11, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Dicke  
der Meßschicht (2) in Übergangsbereichen (22 und 24) zwi-  
schen Randbereichen (21 bzw. 25) des Schichtsystems ohne  
30 die Meßschicht (2) und einem inneren Meßbereich (23) mit  
der Meßschicht (2) kontinuierlich zunimmt.

13. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-

- 1 den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -  
n e t , daß die Meßkontakte (11A und 11B) vom Rand des  
Schichtsystems beabstandet angeordnet sind.
- 5 14. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -  
z e t , daß die Meßkontakte auf der obersten und/oder  
der untersten Schicht des Schichtsystems angeordnet sind.
- 10 15. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -  
n e t , daß wenigstens eine Meßschicht (2) durch zwei  
Meßschichten (2' und 2'') ersetzt ist, die durch eine Zwi-  
schenschicht (4) austauschentkoppelt sind.
- 15 16. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 15, da -  
durch gekennzeichnet, daß die  
Grundzustandsmagnetisierungen ( $M_{M0}'$  und  $M_{M0}''$ ) der beiden  
Meßschichten (2' und 2'') wenigstens annähernd antiparallel  
20 zueinander gerichtet sind, wenn kein Magnetfeld ( $H$ ) an-  
liegt.
- 25 17. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 16, da -  
durch gekennzeichnet, daß die Grund-  
zustandsmagnetisierungen ( $M_M'$  und  $M_M''$ ) der beiden Meß-  
schichten (2' und 2'') um jeweils wenigstens annähernd den  
gleichen Winkel gegen die Normalenrichtung zur Magnetisie-  
rung ( $M_B$ ) der Biasschicht (6) geneigt sind und einen Win-  
kel von weniger als  $180^\circ$  miteinander einschließen.
- 30 18. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -  
n e t , daß jede Meßschicht (2' und 2'') in Richtung ei-

1 ner Vorzugsachse magnetisiert ist, wenn kein Magnetfeld  $H$  anliegt.

5 19. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Magnetschicht (10) entlang einer Vorzugsachse magnetisiert ist.

10 20. Verfahren zur Herstellung eines Magnetowiderstands-Sensors nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit folgenden Merkmalen:

- 15 a) Für die Biasschicht (6) und die Magnetschicht (10) werden magnetische Materialien mit unterschiedlicher Curie-Temperatur  $T_{c1}$  und  $T_{c2}$  und wenigstens annähernd gleicher Magnetisierung bei einer Einsatztemperatur gewählt;
- 20 b) die durch die Kopplungsschicht (8) miteinander verbundenen Biasschicht (6) und Magnetschicht (10) werden auf eine von der Einsatztemperatur verschiedene Einprägetemperatur ( $T_E$ ) gebracht und in einem temperaturabhängigen Biasmagnetfeld ( $H_B$ ) angeordnet, das wenigstens bei dieser Einprägetemperatur ( $T_E$ ) einen vorbestimmten Wert hat;
- 25 c) anschließend werden die Schichten auf die Einsatztemperatur gebracht.

21. Verfahren zur Herstellung eines Magnetowiderstands-Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 19 mit folgenden Merkmalen:

- 30 a) Für die Biasschicht (6) und die Magnetschicht (10) werden magnetische Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken ausgewählt;
- b) die durch die Kopplungsschicht (8) miteinander verbun-

27

1 dene Biasschicht (6) und Magnetschicht (10) werden in  
einem Sättigungsmagnetfeld gesättigt..

5

10

15

20

25

30

1/3

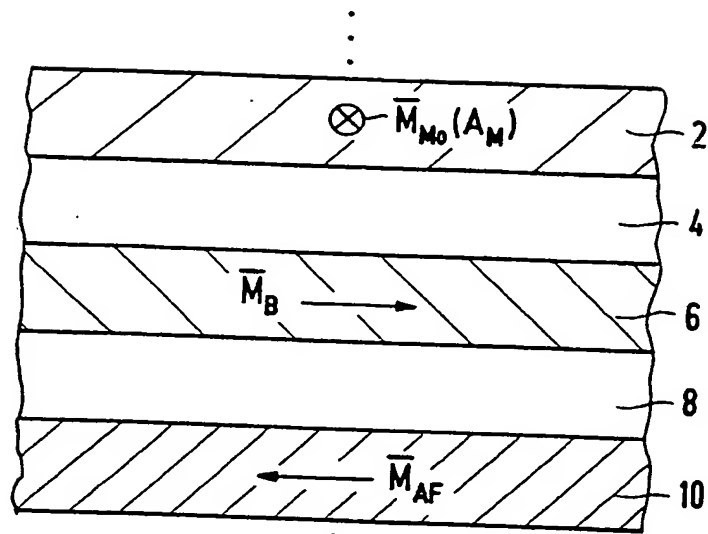


FIG 1

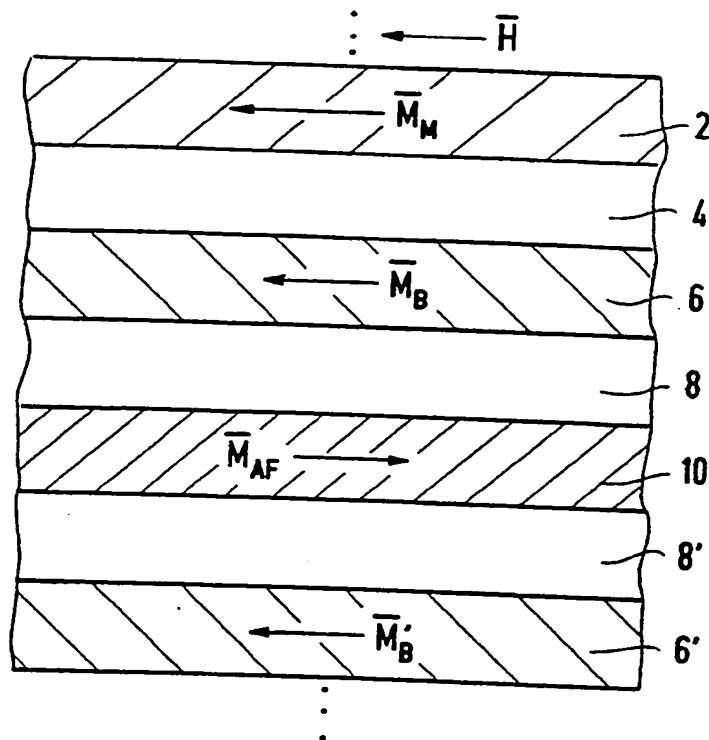


FIG 2

2/3

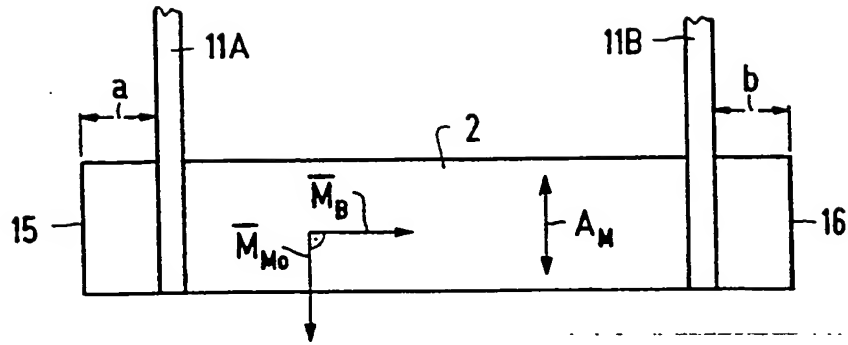


FIG 3

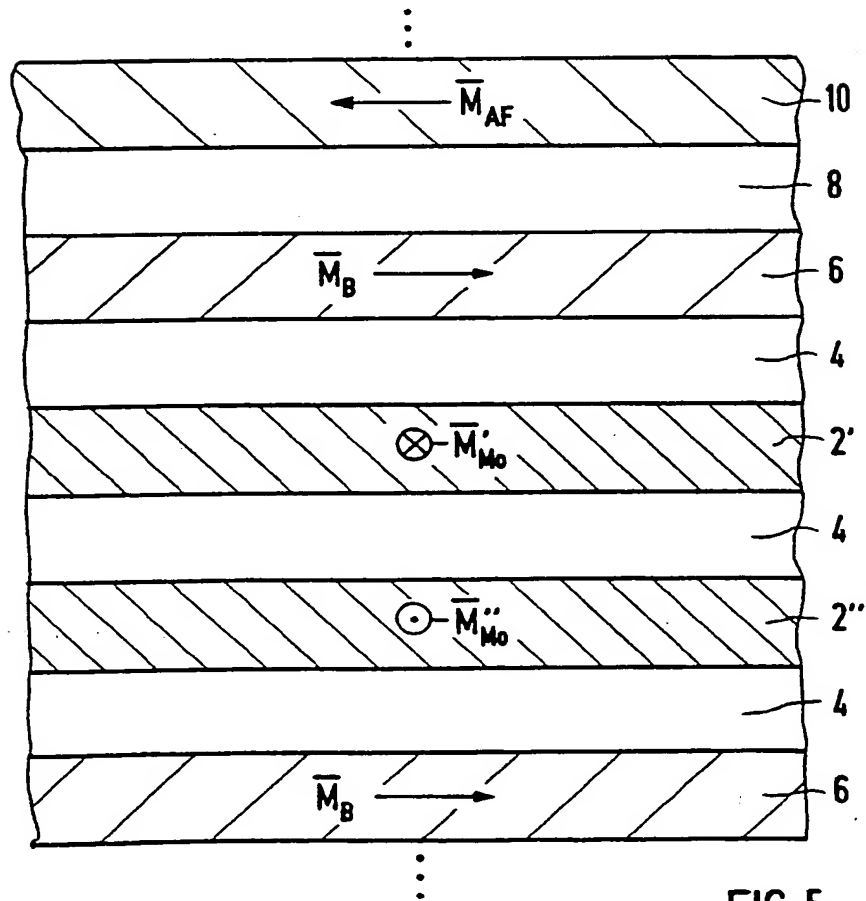


FIG 5





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. No.

PCT/DE 93/01204

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 5 G01R33/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 5 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP,A,0 346 817 (KERNFORSCHUNSANLAGE JÜLICH) 20 December 1989  see column 4, line 4 - line 39	1,3-5, 15,16, 18,19
Y	---	2,6,7, 10,11
Y	EP,A,0 432 890 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 19 June 1991 see column 3, line 9 - column 5, line 9 --- -/--	2,6,7, 10,11

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 April 1994

Date of mailing of the international search report

22.04.94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. Application No

PCT/DE 93/01204

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, vol.44, no.10, September 1991, NEW YORK US pages 5358 - 5361 SPERIOSU ET AL. 'Nonoscillatory magnetoresistance in Co/Cu/Co layered structures with oscillatory coupling' see page 5358, column 1, line 37 - column 2, line 1	1
A	EP,A,0 498 668 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 12 August 1992 see page 3, line 1 - line 36	1,4,6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Appl. No.

PCT/DE 93/01204

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0346817	20-12-89	DE-C- 3820475 JP-A- 2061572 US-A- 4949039	21-12-89 01-03-90 14-08-90
EP-A-0432890	19-06-91	US-A- 5014147 JP-A- 3144909	07-05-91 20-06-91
EP-A-0498668	12-08-92	US-A- 5159513	27-10-92

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. nales Aktenzeichen  
PCT/DE 93/01204

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 5 G01R33/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbol)  
IPK 5 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP,A,0 346 817 (KERNFORSCHUNSANLAGE JÜLICH) 20. Dezember 1989	1,3-5, 15,16, 18,19
Y	siehe Spalte 4, Zeile 4 - Zeile 39	2,6,7, 10,11
Y	EP,A,0 432 890 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 19. Juni 1991 siehe Spalte 3, Zeile 9 - Spalte 5, Zeile 9	2,6,7, 10,11
	---	
	---	
	---/---	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\* "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\* "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\* "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\* "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\* "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\* "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\* "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\* "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\* "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. April 1994

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22.04.94

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Swartjes, H

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter. Aktuelles Aktenzeichen

PCT/DE 93/01204

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, Bd.44, Nr.10, September 1991, NEW YORK US Seiten 5358 - 5361 SPERIOSU ET AL. 'Nonoscillatory magnetoresistance in Co/Cu/Co layered structures with oscillatory coupling' siehe Seite 5358, Spalte 1, Zeile 37 - Spalte 2, Zeile 1</p> <p>---</p>	1
A	<p>EP,A,0 498 668 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 12. August 1992 siehe Seite 3, Zeile 1 - Zeile 36</p> <p>-----</p>	1,4,6

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter. Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/01204

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0346817	20-12-89	DE-C- 3820475	21-12-89
		JP-A- 2061572	01-03-90
		US-A- 4949039	14-08-90
EP-A-0432890	19-06-91	US-A- 5014147	07-05-91
		JP-A- 3144909	20-06-91
EP-A-0498668	12-08-92	US-A- 5159513	27-10-92